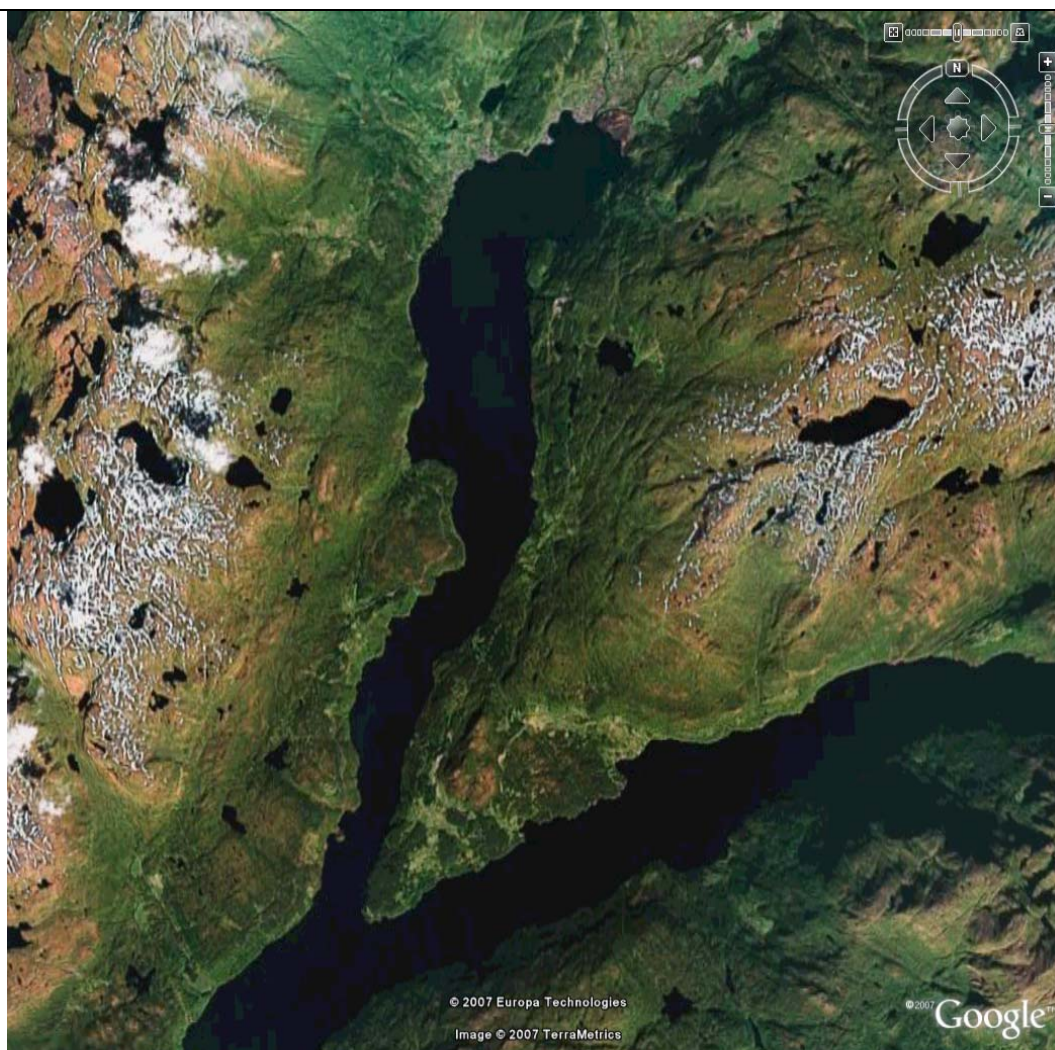




RAPPORT LNR 5335-2007

## Eramet Sauda

Miljøkonsekvensvurdering for  
utslipp av kjølevann fra  
planlagt gjenvinningsanlegg  
for energi



# Norsk institutt for vannforskning

# RAPPORT

## Hovedkontor

Gaustadaléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

## Sørlandsavdelingen

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

## Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

## Vestlandsavdelingen

Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

## Akvaplan-niva

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Eramet Sauda. Miljøkonsekvensvurdering for utslipp av kjølevann fra planlagt gjenvinningsanlegg for energi	Løpenr. (for bestilling) 5335-2007	Dato 6.2.2007
	Prosjektnr. Undernr. 27023	Sider Pris 22
Forfatter(e) Tone Kroglund (NIVA), Jarle Molvær (NIVA), Agathe Sørflaten (Akvaplan-niva)	Fagområde Oseanografi, Marin eutrofi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Eramet Norway AS, Sauda.	Oppdragsreferanse R. Aa Austerheim
--	---------------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Eramet Norway AS i Sauda (ENS) planlegger etablering av et gjenvinningsanlegg for energi (ERU) fra ovnsgass fra bedriftens smelteovner. Etablering av et slikt anlegg kan innebære et utslipp av store mengde kjølevann (sjøvann fra Saudafjorden). Vurderinger av dette utslippet i forhold til vannkvalitet og biologisk tilstand i fjorden konkluderer med at det er svært liten risiko for negative virkninger utenfor en avstand på 50-100 m fra utslippspunktet.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eramet Sauda</li> <li>2. Kjølevann</li> <li>3. Temperatur</li> <li>4. Biologi</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eramet Sauda</li> <li>2. Cooling water</li> <li>3. Temperature</li> <li>4. Biology</li> </ol>
---	--



Prosjektleder



Forskningsleder



Fag- og markedsdirektør

ISBN 82-577-5069-7

O-27023

**Eramet Sauda**

**Miljøkonsekvensvurdering for utslipp av kjølevann  
fra planlagt gjenvinningsanlegg for energi**

## Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for Eramet Norway AS i Sauda.

Beregningene av fortynning og overtemperatur er utført av Agathe Sørflaten, Akvaplan-niva, Tromsø. De biologiske vurderingene er utført av Tone Kroglund, NIVA. Jarle Molvær, NIVA, har vært prosjektleder.

Oslo, 6. februar 2007

*Jarle Molvær*

# **Innhold**

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Miljøforhold i Saudafjordens indre del</b>	<b>8</b>
2.1 Generell beskrivelse av topografi, ferskvannstilførsel og vannmasser	8
2.2 Vannkvalitet	8
2.3 Biologiske forhold	9
<b>3. Beskrivelse av det planlagte utslippet</b>	<b>10</b>
<b>4. Økologiske virkninger ved utslipp av oppvarmet sjøvann</b>	<b>10</b>
4.1 Virkninger av overtemperatur	11
4.2 Effekter av andre komponenter i utslippet	12
<b>5. Beregninger av overtemperatur i utslippet</b>	<b>14</b>
5.1 Metodikk	14
5.2 Datagrunnlag	16
5.3 Resultater	17
<b>6. Sammenfattende vurdering av utslippet</b>	<b>21</b>
<b>7. Litteratur</b>	<b>22</b>

---

## Sammendrag

Eramet Norway AS i Sauda (ENS) planlegger etablering av et gjenvinningsanlegg for energi (ERU) fra ovnsgass fra bedriftens smelteovner. Etablering av et slikt anlegg kan innebære et utslipp av store mengde kjølevann (sjøvann fra Saudafjorden).

Som grunnlag for å bedømme miljøvirkninger av kjølevannsutslippet har man oppsummert opplysninger om de vannkjemiske og biologiske forholdene i Saudafjordens indre del. Videre er det gjort en sammenstilling av hvilken toleranse marine organismer har for temperaturøkninger, samt beregninger av kjølevannets fortynning i Saudafjorden og temperaturen i skyen med fortynnet kjølevann.

Fortynningsberegningene viser at overtemperaturen i utslippsvannet, sammenlignet med temperaturen i de omkringliggende vannmassene, i de fleste situasjoner avtar til under 1 °C innen en avstand av ca 100 m fra utslippet. Det er liten risiko for påvisbare effekter med en temperaturøkning på under 1 °C. Vi anser derfor risikoen for effekter på organismesamfunn utenfor en avstand av 50-100 m fra utslippet som svært liten.

Innenfor 100 meter fra utslippet kan man få biologiske effekter, men ettersom organismesamfunnet i indre del av fjorden sannsynligvis er svært artsfattig og det verken er tareforekomster eller andre viktige biotoper i nærområdet til utslippet, vil betydningen av effektene være begrenset. Dette med forbehold om at organismesamfunnet ikke har gjennomgått vesentlige positive endringer siden 1980-tallet.

Konsentrasjonen av suspendert materiale i 35-40 m dyp er sannsynligvis lav og utslippet av kjølevann vil neppe medføre økt konsentrasjon av partikler i det dypet hvor det innlagres.

# 1. Innledning

Eramet Norway AS i Sauda (ENS) planlegger etablering av et gjenvinningsanlegg for energi (ERU) fra ovnsgass fra bedriftens smelteovner. Etablering av et slikt anlegg vil innebære et potensielt utslipp av store mengde kjølevann (sjøvann fra Saudafjorden). Planlagt utslippspunkt vil være langs ENS sin importkai.

Bedriftens utslippstillatelse har i dag ingen begrensninger for utslipp av kjølevann til Saudafjorden, men etableringen av ERU-anlegget vil innebære en endring som krever utslippstillatelse fra SFT.

Som et grunnlag for denne søknaden ønskes det utført en konsekvensstudie for å avklare hvilke effekter et slikt utslipp til Saudafjorden vil ha. Fjorden og bedriftens plassering er vist i **Figur 1-Figur 2**.



**Figur 1.** Oversiktsbilde over Saudafjorden. Utsnittet av fjordens indre del som vises i Figur 2 er vist i ramme.





**Figur 2.** Oversiktsbilde av Saudafjordens indre del. Eramet Sauda AS sees nord for navnet "Ekkjegrunnen" på kartet.

I NIVAs tilbud av 1.12.06 er miljøkonsekvensutredningen beskrevet med følgende deloppgaver:

1. Innhente data som beskriver det planlagte utslippet. Primært gjelder det vannmengder, inntaksdyp, utslippsdyp, aktuelt utslippsarrangement, lokalisering av inntak og utslipp.
2. Identifisere og beskrive de påvirkningsfaktorene for sjø som utslipp av kjølevann vil omfatte. Vi er ikke kjent med eventuelle andre utslipp fra gjenvinningsanlegget, og slike omfattes ikke av tilbudet.
3. Innhente og sammenstille informasjon om hydrofysiske, hydrokjemisk og biologiske forhold i om sjøresipienten.
4. Beregne spredning og fortynning av kjølevannet resipienten utenfor Sauda, og anslå områder for aktuelle nivåer av for overtemperatur. Resultatene vurderes mot effekter av overtemperatur på marine organismer i området utenfor Sauda.

Dette tilbudet ble godkjent og ligger til grunn for utførelsen av prosjektet.



## 2. Miljøforhold i Saudafjordens indre del

### 2.1 Generell beskrivelse av topografi, ferskvannstilførsel og vannmasser

Saudafjorden strekker seg i SW-NE retning og det er ca. 14 km fra den relativt smale munningen mot Sandsfjorden til fjordbunnen ved Sauda (**Figur 1**). Indre delen av fjorden er i gjennomsnitt ca. 2 km bred, mens den ytre delen fra Solandsneset og til munningen er smalere, i.e. ca. 1 km. Dypet øker monotont fra 20-50 m i havnebassenget ved Sauda til ca. 380 m ved Solandsneset. Deretter blir fjorden noe grunnere og er ved munningen ca. 220 m dyp.

Bortsett fra lengst inne ved Sauda er fjorden omgitt av bratte åser. Den vesentligste delen av nedbørsfeltet drenerer til den innerste delen via elvene Storelva, Åbøelva (Nordelva) og Sagfossen (**Figur 2**), og via kraftverket Sauda III. Samlet ferskvannstilførsel er i størrelsesorden 50 – 100 m<sup>3</sup>/s.

Denne ferskvannstilførselen skaper en sterk vertikal sjiktning i fjorden, med typisk tre vannlag:

- Brakkvannslag med tykkelse 2-4 m og saltholdighet varierende i intervallet 2-15
- Overgangslag (sprangsjikt) der saltholdigheten øker raskt med dypet, ned til 10-12 m dyp
- Sjøvannslaget, med saltholdighet typisk i intervallet 30-34.

Dette er antydnet i **Figur 3**.

Strømforholdene er store trekk er de trolig som følger:

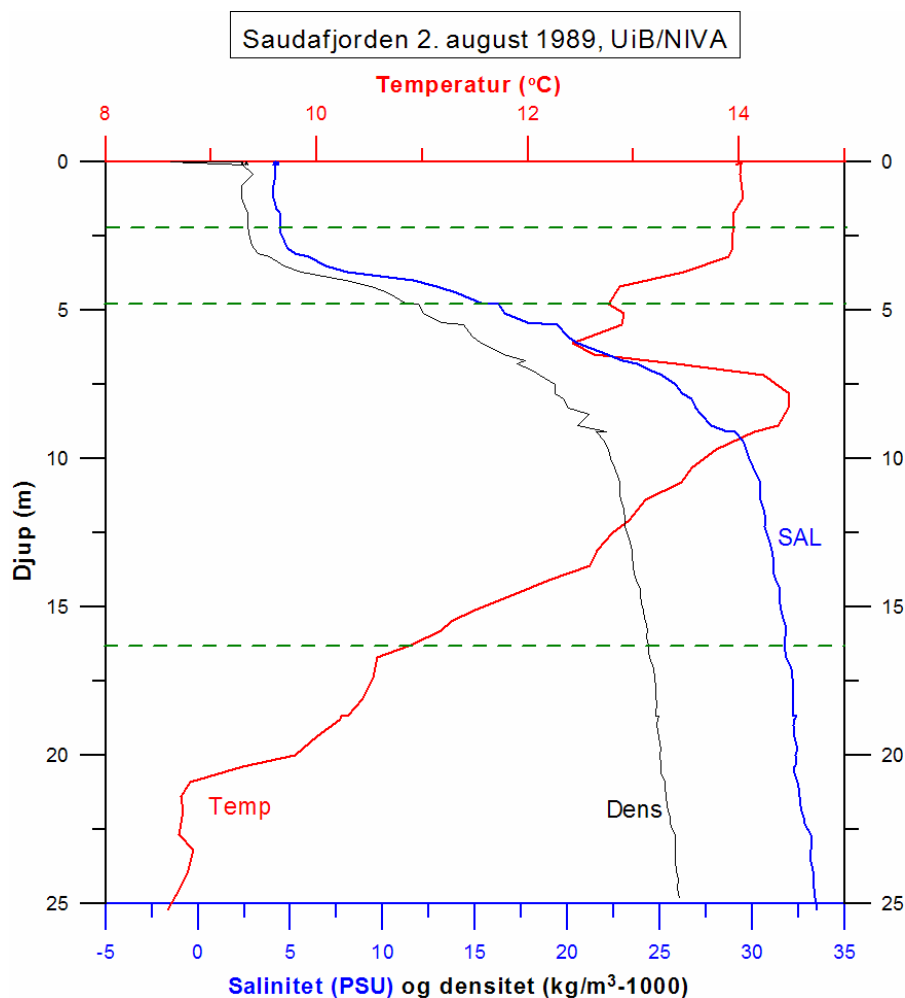
- Brakkvannslaget vil bevege seg ut fjorden – men påvirkes av tidevann og vind
- I øvre del av sjøvannslaget eller nedre del av overgangslaget vil det være en svakere inngående sjøvannsstrøm – men påvirkes av tidevann og vind
- I sjøvannslaget vil strømforholdene (retning og hastighet) være svært varierende pga. av tidevann og meteorologisk påvirkning

### 2.2 Vannkvalitet

Vannkvaliteten i Saudafjordens indre del ble undersøkt av Rogalandsforskning i 2000-2001 (Tvedten 2001). Undersøkelsen omfattet bl.a. målinger av temperatur, saltholdighet, næringssalter, klorofyll, bakterier og oksygen.

Generelt var næringssaltinnholdet lavt i følge SFTs tilstandsklassifisering (Molvær et al., 1997), og overflatevannet i Saudafjorden fikk klassifiseringen *God-Meget God*. Klorofyllinnholdet var også forholdsvis lavt. Siktedypet var generelt dårlig, sannsynligvis som følge av mye ferskvann og sterk sjiktning i vannet.

Oksygenkonsentrasjonene i indre del av fjorden var høye og tilstanden ble karakterisert som *God- Meget God*



**Figur 3.** Vertikalprofil av temperatur, saltholdighet og egenvekt målt i Saudafjordens indre del 2.8.1989 (fra Stenstrøm og Golmen, 2005).

## 2.3 Biologiske forhold

En undersøkelse av gruntvannssamfunnet fra 1981 viste at det var et svært artsfattig organismsamfunn i indre del av fjorden (Knutzen m.fl. 1982). Ned til ca. 4 meters dyp vokste kun enkelte grønnalgearter, diatomeer og strandkrabber. Nederste grense for algevegetasjon var 6 meters dyp. Vanlig strandfauna var stort sett fraværende, men enkelte faunaarter ble registrert ned til 25 meters dyp (oskjell, manglebørsemark, sadelskjell, anemone). De artsfattige samfunnene ble antatt å skyldes ferskvannspåvirkning i overflaten, dels alminnelig fjordeffekt på dypere vann og dels som resultat av beiting fra sjøpinnsvin. Organismesamfunnet ned til 20-30 m viste liten forandring siden foregående undersøkelse i 1974.

Ved Ramneset og Bølneset litt lenger ute i fjorden ble det registrert betydelig flere arter. Alger vokste ned til 13-16 meters dyp men var fortsatt dominert av små trådformete og enkelte skorpeformete alger. På Ramneset (2 km fra utslippet) var blæretang vanlig ned til ca. 2 meter, mens grisetang ble observert på Bølneset. Gruntvannsfauna vokste ned til 20 m dyp i dette området.

Undersøkelse av bløtbunnsfauna i 1981 viste at det var død bunn (svart sediment uten dyreliv) eller meget fattig bløtbunnsamfunn nærmere enn 4-500 m fra utslippet. Utenfor nærområdet ble det

observert en rask normalisering. Dyrelivet langs fjordens dypål (ca. 150-400 m dyp) var også fattig, men tilsvarende observasjoner foreligger også fra ubelastede fjorder langt fra åpen kyst.

Undersøkelsen i 2000-2001 (Tvedten 2001) omfattet også bløtbunnsfauna. På stasjonene i fjordens indre del ble tilstanden klassifisert som *God-Mindre God*, i første rekke pga. forholdsvis få arter og dermed lav diversitet.

### 3. Beskrivelse av det planlagte utslippet

Bedriften har gitt følgende beskrivelse av vannmengder og utslipp:

- Vannmengde: ca. 2450 m<sup>3</sup>/h (ca. 0,7 m<sup>3</sup>/s)
- Inntak: omkring 35-40 m dyp
- Utslipp: 10-20 m dyp
- Temperaturøkning: 10 °C
- Diameter på utslippsledning: 600 mm eller 800 mm

Inntaksledning og utløp vil følge samme trase, men utløpet stopper på omkring halvveien.

### 4. Økologiske virkninger ved utslipp av oppvarmet sjøvann

Utslipp av kjølevann innebærer først og fremst utslipp av overtemperatur til resipienten, men kan også innebære tilførsler av andre komponenter. Dersom det brukes klor eller andre biocider for å hindre begroing i kjølevannsanlegget, tilføres kjemiske stoffer som kan ha negative konsekvenser for miljøet. Også i de tilfeller hvor kjølevannet ikke tilføres kjemiske substanser, kan utslippet likevel føre til endringer i vannkjem i utslippsdypet. Dette fordi vannmasser flyttes fra inntaksdypet til et ofte grunnere utslippsdyp.

De viktigste utslippskomponentene kan deles inn i :

1. De som genereres i anlegget under bruk av sjøvannet. Dette omfatter overtemperatur og reduksjon av mengden oppløst oksygen som følge av temperaturøkningen. Eventuell bruk av klor eller andre biocider er ikke kjent og omtales ikke her.
2. De som følger med inntaksvannet inn fra dypt vann og slippes ut på grunnere vann. Dette omfatter næringssalter (forfat, nitrat, ammonium, silikat), oksygeninnhold, suspendert stoff og eventuelle miljøgifter. Det forutsetter at det er forskjell mellom inntaksdyp og utslippsdyp, og at det er lagdeling av vannmassene.

Fastsittende alger og dyr og lite bevegelige dyp på hard og bløtbunn kan ikke rømme fra utslippet og kan bli både akutt og kronisk eksponert for overtemperaturer. Planteplankton, dyreplankton og fisk kan komme i kontakt med utslippsvannet, men disse beveger seg i frie vannmassene og vil stort sett ikke bli kontinuerlig (kronisk) eksponert.

## 4.1 Virkninger av overtemperatur

Utslipp av overtemperatur kan ha en rekke direkte og indirekte innvirkninger på miljøet.

Direkte effekter av overtemperatur er:

- Endring i temperaturforholdene på utslippsstedet (økning i gjennomsnitts- og maksimumstemperatur og større temperatursvigninger)
- Lethale og sub-lethale responser fra marine organismer til temperaturendringer
- Endring i biologiske prosesser (respirasjon, vekst,...)
- Reduksjon i oppløst oksygen

Indirekte effekter av overtemperatur omfatter endringer i organismesamfunn og økosystemer som følge av endringer hos enkeltarter.

### *Endring av temperaturforholdene*

Temperaturendringen i resipienten vil være stedsspesifikk og avhenger av mange faktorer, deriblant områdets hydrodynamikk og utslippsdyp- og løsnings. Vanlig økning i temperatur i kjølevann fra engelske kraftverk er 10-12 (15) °C ([www.ukmarinesac.org.uk](http://www.ukmarinesac.org.uk)). Den største temperaturøkningen vil man få i umiddelbar nærhet til kjølevannsutslippet. Varmen vil raskt fordeles ettersom skyen med avløpsvann blander seg med omkringliggende vannmasser.

Endringer i temperaturforholdene vil omfatte både høyere maksimumstemperatur, økt gjennomsnittstemperatur og større fluktuasjon i temperaturforskjeller. Det siste vil gjelde spesielt hvis utslippet ikke er helkontinuerlig, men kommer i puljer.

### *Biologiske prosesser*

De fleste biologiske prosesser vil øke med økende temperatur inntil et toleransemaksimum, hvorefter de raskt stopper. Denne grensen ligger i de aller fleste tilfeller over 20 °C, men lavere grenser forekommer for arktiske arter. Prosessene øker ofte med en faktor 2-5 for hver 10 °C økning, men svært mange organismer har evne til å regulere prosessene til et normalnivå etter en akklimatisering, så lenge temperaturen holder seg innenfor artens toleranseintervall. For marine dyr virker temperatur inn på for eksempel næringsopptak, fysiologi, formeringsevne, modningstid, livslengde og toleranse for miljøgifter.

### *Lethale og sub-lethale responser fra marine organismer*

Temperatur er den viktigste økologiske faktoren som begrenser en arts utbredelse. Temperaturen kan enten være dødelig eller utilstrekkelig for vekst og reproduksjon slik at arten ikke klarer å opprettholde populasjonene. Det finnes mye litteratur på dette for marine alger og dyr, men problematikken er kun omtalt generelt her. Også fordi kunnskapen om dagens artssamfunn rundt utslippet er begrenset og vurderingene bør gjelde flere typer arter og samfunn enn det som ble registrert i 1981.

Flere av våre store tang- og tarearter har et øvre toleransenivå som vil kunne overskrides av et kjølevannsutslipp. Dette er fordi mange av dem har en kaldtemperert til arktisk utbredelse. De tåler derfor lav temperatur bedre enn høy temperatur. Sukketare, for eksempel, stopper veksten ved ca 18 °C og dør ved 20-23 °C (avhengig av sesong) (Lüning 1990). Fingertare dør også ved denne temperaturen. Andre nordlige arter dør allerede ved 17-18°C (Rueness m.fl. 1990). Toleransen for høy temperatur er som regel lavere på vinteren enn på sommeren. Tangartene sagtang, blæretang og grisetang tåler noe høyere temperatur og har dødlig grense ved 28 °C (sagtang) og 30 °C (blæretang og grisetang). En del vanlige grønn og rødalger har også høy overlevelsestemperatur (28 – 30 °C) (Lüning 1990).

Man kan regne med at toleranse for temperaturøkning er lavere i marine samfunn som normalt opplever liten sesongendring i temperaturen enn der slik sesongvariasjon er stor. Norske marine samfunn på grunt vann utsettes for stor sesongfluktuasjon i temperatur og må ut fra det regnes som tolerante for endringer så lenge ikke øvre og nedre toleransegrensene overskrides. Hvor raskt temperaturforskjellene inntreffer, er også av stor betydning for overlevelse. Akutte utslipp som medfører rask endring i temperatur er vanskeligere å takle for artene. Stort sett tåler fjærearter både høyere temperaturer og større temperaturforskjeller enn arter som lever dypere og er tilpasset et mye mer stabilt miljø.

Enkelte varmekjære arter og introduserte arter kan ha fordel av temperaturøkningen. Siden norske marine samfunn har en blanding av kuldekjære og varmekjære arter er det vanskelig å fastsette en grense for hvor høy overtemperatur et samfunn tåler. En vedvarende temperaturøkning vil kunne virke positivt på noen arter, negativt på andre, og man kan få en gradvis forskyvning av artssammensetning og samfunnsstruktur. En konservativ grense for overtemperatur er i mange tilfeller satt til +1 °C, ut fra at det er sannsynlig at de aller fleste artene vil tåle dette uten vesentlig endring i biologi.

NIVA gjennomførte i 1988 – 1991 et modelløkosystem-eksperiment der transplanterte hard- og bløtbunnssamfunn fra ca 10 m-15 m dyp ved Jomfruland ble utsatt for en konstant overtemperatur på +3 °C oppå den normale temperaturvariasjonen i 2,5 år (Bakke m.fl. 1992). Overtemperaturen virket lite inn på vannets fysiske og kjemiske forhold bortsett fra en svak reduksjon i oksygeninnhold og pH. Effekten på enkeltarters biologi gikk som ventet i begge retninger og varierte over sesong. Innenfor samme art kunne det også være f.eks. positiv effekt på vekst og negativ på overlevelse. Overtemperaturen ga en liten, men entydig gradvis endring i samfunnsstruktur på hardbunn over tid, men denne var så liten at den ville være vanskelig å påvise i et åpent naturlig system. På bløtbunn ble ikke samfunnsstrukturen entydig påvirket. Samlet indikerte resultatene at det vil være vanskelig å påvise effekter av 3 °C vedvarende temperaturpåslag på naturlige marine bunnmiljø på 10 m-15 m dyp.

Som følge av det ovenfor nevnte anser vi derfor en overtemperatur på +3 °C som en sannsynlig grense og +1 °C som en konservativ grense for effekter på de naturlige bunnsamfunn i resipienten for kjølevannsutslippet.

## 4.2 Effekter av andre komponenter i utslippet

### *Oppløst oksygen*

En indirekte effekt av overtemperatur er endring i vannets konsentrasjon av oksygen. Vannets innhold av oppløst oksygen reduseres med økende temperatur. Samtidig øker hastigheten av biologiske prosesser og behovet for oksygen med økende temperatur..

Alle høyere organismer er avhengig av oksygen for å overleve. Toleransen for redusert konsentrasjon av oppløst oksygen i omgivende vann varierer både med type marine samfunn og hvordan oksygenreduksjonen forekommer (periodisk eller vedvarende). Helmettet sjøvann ved 15 °C og saltholdighet på 35 inneholder ca 7,6 mgO<sub>2</sub>/liter (tilsvarer 5,4 ml O<sub>2</sub>/liter). Enkelte sedimentlevende organismer kan tåle vedvarende oksygenkonsentrasjon på bare 1 mgO<sub>2</sub>/liter, men vanligvis ligger kritisk grense for effekter på 2-3 mgO<sub>2</sub>/liter. En ikke-effekt grense som skal dekke alle typer marine samfunn er av Bakke et al. (2002) satt til 5 mgO<sub>2</sub>/liter. Dette sammenfaller med skillet mellom *God* og *Mindre God* tilstand i vannmasser etter SFTs klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann.

Dersom inntaksvannet er mettet med oksygen vil en temperaturheving gi overmetning og teoretisk kunne føre til at oksygen avdrives. Det er likevel ikke sikkert at slik avdriving vil skje. Sjøvann kan naturlig være overmettet med oksygen ved sterk primærproduksjon og modellbetraktninger har vist at

selv ved en temperaturheving på flere grader vil tap av oksygen ved full metning være ubetydelig (Gasparini 1983). Fare for utdriving av oksygen ved oppvarming minsker dersom kjølevannet som taes inn ikke er mettet.

Undersøkelsen i 2000-2001 (Tvedten 2001) omfattet målinger av oksygen og oksygenkonsentrasjoner i 40 m dyp i innerste del av Saudafjorden var ca. 5,5-8,8 mgO<sub>2</sub>/l (ca. 55-97% metning). Dette tilsvarer vannkvalitetsklassene *God-Meget God* (Molvær et al., 1997). I 15 m dyp ble det målt ca. 8-10 mgO<sub>2</sub>/l (ca. 85-103% metning) som tilsvarer vannkvalitetsklasse *Meget God*. Dette betyr at det vannet som pumpes inn i kjølevannsanlegget vil ha et oksygeninnhold som er i tilstandsklasse *God-Meget God* og selv om konsentrasjonen kan bli noe redusert før det slippes tilbake og innblandes i et oksygenrikt vannlag på 10-20 m dyp i Saudafjorden vil det neppe ha noe betydning for oksygenforholdene i det vannlaget.

#### *Næringssalter*

Uorganiske næringssalter, primært fosfat, nitrat og ammonium stimulerer vekst av makro- og mikroalger i den produktive sonen (forenklet definert som sonen der lysintensiteten er > 1 % av intensiteten ved overflaten). Vertikalfordelingen av næringssaltene er funksjon av omrøring i vannmassene som bringer næringssalter fra dypere vann til overflaten og produksjonen som utarmer næringssaltene i de øvre vannlag når vannet er sjiktet. Det er derfor vanligvis en klar sesongvariasjon i næringssaltene i det produktive laget. Blir næringssalttilførselen for stor fører den til en overproduksjon av organisk materiale som kan gi negative effekter i form av høy turbiditet i vannet og oksygensvikt ved bunnen når dødt algemateriale synker ut (eutrofiering). Hvorvidt et næringsrikt vann fra 40 m dyp vil stimulere algeproduksjonen når det slippes ut avhenger av om det innlagres i vannmasser med alger i produksjon eller ikke.

Undersøkelsen i 2000-2001 (Tvedten 2001) omfattet prøvetaking og næringssaltanalyser mellom overflata og 10 m dyp. Der er således ingen data fra de aktuelle inntaksdyp eller utslippsdyp for kjølevannet. I sommerhalvåret kan man regne med at næringssaltkonsentrasjonen i 35-40 m dyp er høyere enn i 10-20 m dyp og at kjølevannet dermed vil forflytte næringssalter opp mot det vannlaget der algeproduksjon foregår. Det finnes ikke grunnlag for å kvantifisere denne "transporten", og en generell anbefaling er dermed å innlagre kjølevannet i nedre del (15-20 m dyp) av det aktuelle utslippsintervallet.

#### *Suspendert stoff*

Suspendert stoff er en samlebetegnelse på alle typer partikler i en vannmasse. Definisjonen er teknisk siden kvantifisering baseres på det materialet som fanges på et filter og veies etter filtrering av en vannprøve med standardisert metode. Normalverdier av naturlig suspendert materiale i fjordområder varierer sesongmessig med planktonproduksjon og avrenning fra land. Undersøkelsen i 2000-2001 (Tvedten 2001) omfattet ikke suspendert stoff, men målingene av siktedyp tydet på relativt store mengder i overflatelaget i fjordens innerste del. Dette kan antas dels å være partikler som ble tilført med elvevannet og dels planteplankton.

Det er en rimelig antakelse konsentrasjonen av suspendert materiale i 35-40 m dyp er forholdsvis lavt og at utslippet av kjølevann dermed ikke vil bidra til økt konsentrasjon av suspendert stoff eller økt sedimentering av partikulært i det dypet hvor det innlagres.

#### *Miljøgifter*

Bruken av sjøvann som kjølevann genererer i seg selv ikke utslipp av miljøgifter. Eneste kilde til miljøgifter i utslippsvannet er det som eventuelt følger med vann og suspendert materiale fra inntaksområdet til utslippsområdet. For Saudafjorden kan dette bety en lokal omplassering av miljøgifter i vannmassene fra 40 m dyp til 15-20 m dyp.

## 5. Beregninger av overtemperatur i utslippet

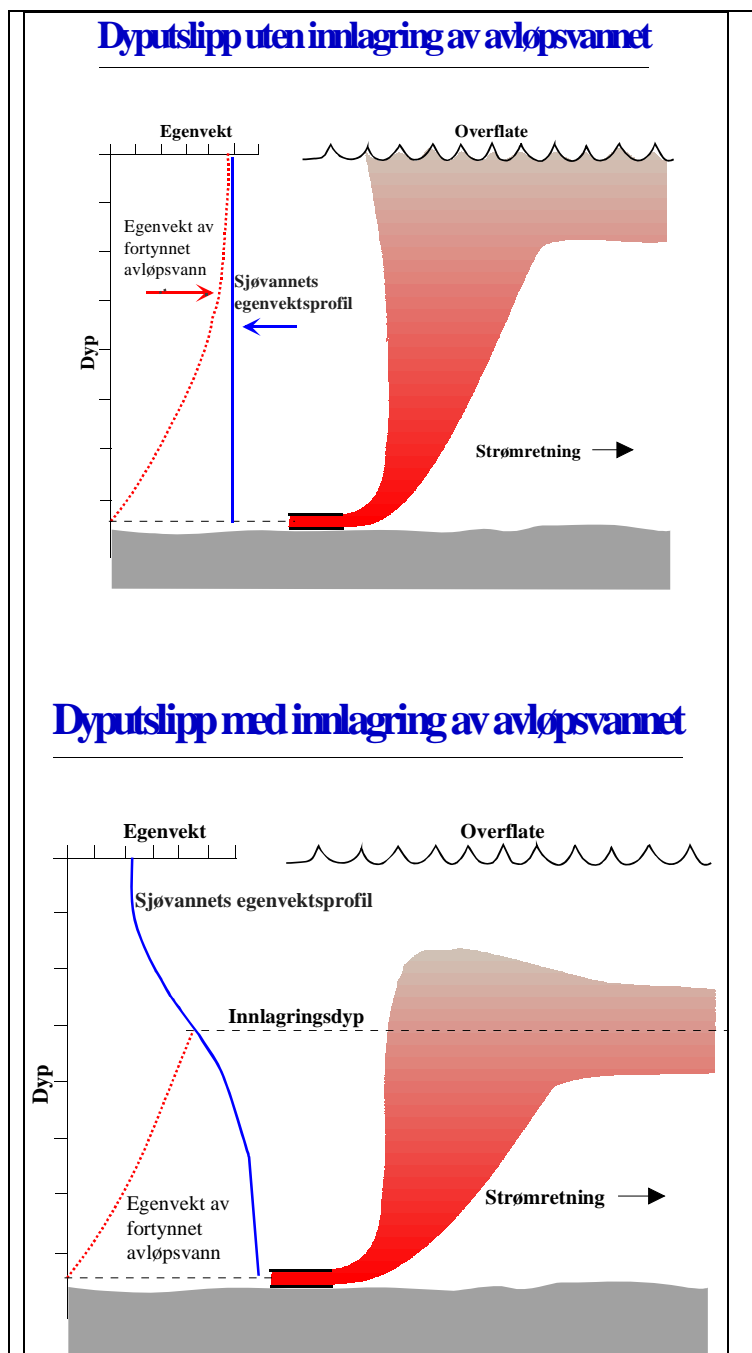
### 5.1 Metodikk

For å vurdere hvordan utslippet oppfører seg i resipienten har vi gjort simuleringer av utslippene med den numeriske modellen Visual Plumes, utviklet av U.S. Environmental Protection Agency (Frick et al. 2001). Modellen beregner hvordan utslippsvannet fortynnes og innlagres under ulike sjiktning- og strømforhold.

Nødvendige inngangsdata til modellen er målinger av saltinnhold, temperatur og strøm nedover i vannsøyla, samt opplysninger om utslippet (posisjon, utslippsrate, temperatur, saltinnhold og diameter på røret).

Dersom utslippet som slippes ut i en fjord er ferskt og varmt kan det ha en lavere egenvekt enn sjøvannet i fjorden. Når utslippet slippes ut på dypt vann vil det derfor begynne å stige opp mot overflata samtidig som det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Dersom sjøvannet har stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av kjølevann og sjøvann øker mens det stiger oppover, samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avtar. I et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring (Figur 4). Blandingsvannmassen har ikke lenger noen "positiv oppdrift", men dens vertikale bevegelsesenergi gjør imidlertid at den stiger noe forbi dette "likevektsdypet" for så å synke tilbake og innlagres. Er sjiktningen i sjøvannet svak, vil kjølevannet i de fleste tilfeller nå overflata.





Figur 4. Prinsippskisser som viser hvordan dype utslipp fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet. Ved den øvre figuren er ikke dette tilfelle og utslippsvannet når overflata. I den nedre figuren innlagres utslippet.

## 5.2 Datagrunnlag

Opplysninger om utslippet er gitt av oppdragsgiver. Kjølevannet tas inn på 35 m – 40 m dyp i fjorden, varmes opp ca 10 °C og slippes ut på 10 m – 20 m dyp. Temperaturen på utslippet vil dermed være ca 10 °C større enn temperaturen ved inntaksdypet. Saltinnholdet i kjølevannet antas å ikke endres i prosessen, slik at saltinnholdet i utslippet vil være det samme som fjordvannet på 35 m – 40 m dyp. Utslippsrøret er oppgitt til å ha diameter 0,6 m med tilhørende utslippsrate 0,681 m<sup>3</sup>/s. Utslippet antas rettet horisontalt og vinkelrett ut fra land.

Modellberegningene er utført for fire situasjoner; sommer, høst, vinter og vår. Hydrografidata er gitt fra NVE og NIVA/UiB i perioden 1984-1989 (upublisert data).

Beregningene er foretatt for en representativ strømhastighet i resipienten, som tilsvarer middel strøm i 5 m dyp. Strømhastighetene er basert på strømmålinger foretatt relativt nær det aktuelle utslippspunktet 2. august 1989 (NIVA/UiB upublisert data). Disse hastighetene er benyttet for høst, vinter og vår situasjon siden det ikke er utført strømmålinger for andre tider på året. Hovedstrømretningen er rettet inn og ut av fjorden for alle måledyp. Strømhastighetene som er benyttet i modellberegningene er vist i **Tabell 1**.

**Tabell 1.** Strømhastigheter brukt i beregningene av innlagingsdyp og fortykning fra utslipp i Saudafjorden, basert på strømmålinger fra august 1989.

Dyp	Strømhastighet
[m]	[cm/s]
2	12,50
4	8,75
8	8,00
12	7,50
18	2,50

### 5.3 Resultater

Det er blitt simulert for utslipp av kjølevann ved henholdsvis 10 m og 20 m utslippsdyp for sommer-, vinter, høst- og vårsituasjon (se **Figur 5-Figur 8**). For sommer og vinter er resultater med hensyn på temperatur vist i **Tabell 2** og **Tabell 3**.

Beregningene er blitt utført for flere vertikalprofiler av temperatur og saltinnhold for hver enkelt årstid og som viser at utslippet innlagres for alle tilfeller med henholdsvis 10 m og 20 m utslippsdyp. Dette gjelder for både inntaksdyp 35-36 m og 40 m. Innlagringen foregår i kort avstand over eller under utslippsdypet. I forhold til omgivelsene er overtemperaturen i skyen med fortynnet kjølevann beregnet til å være opptil 0,5-1,0 °C i en avstand på ca 100m fra utslippspunktet. I avstanden 1000 m fra utslippspunktet er temperaturforskjellen helt utjevnet. Resultatene viser at fortynningen av utslippet og dets overtemperatur i blanding med vannmassene er tilnærmet den samme for utslipp tatt fra 35-36 m og 40 m inntaksdyp. Det skyldes at temperaturforskjellen på sjøvann fra disse to dypene er relativt liten.

For større strømhastighet i resipienten fortynnes plumen og dens overtemperatur i større grad i nærheten av utslippspunktet. Temperaturforskjellen mellom plumen og vannmassene er av samme størrelsesorden som tidligere (0,5-1,0 °C) ca 100 m fra utslippspunktet (ikke presentert). Dette gjelder uavhengig hvilken inntaksdyp (35 m og 40 m) og utslippsdyp (10 m og 20 m) som benyttes. Siden middel hastighet er nærmere en normal strømsituasjon i fjorden er resultatene for denne gitt størst vekt.

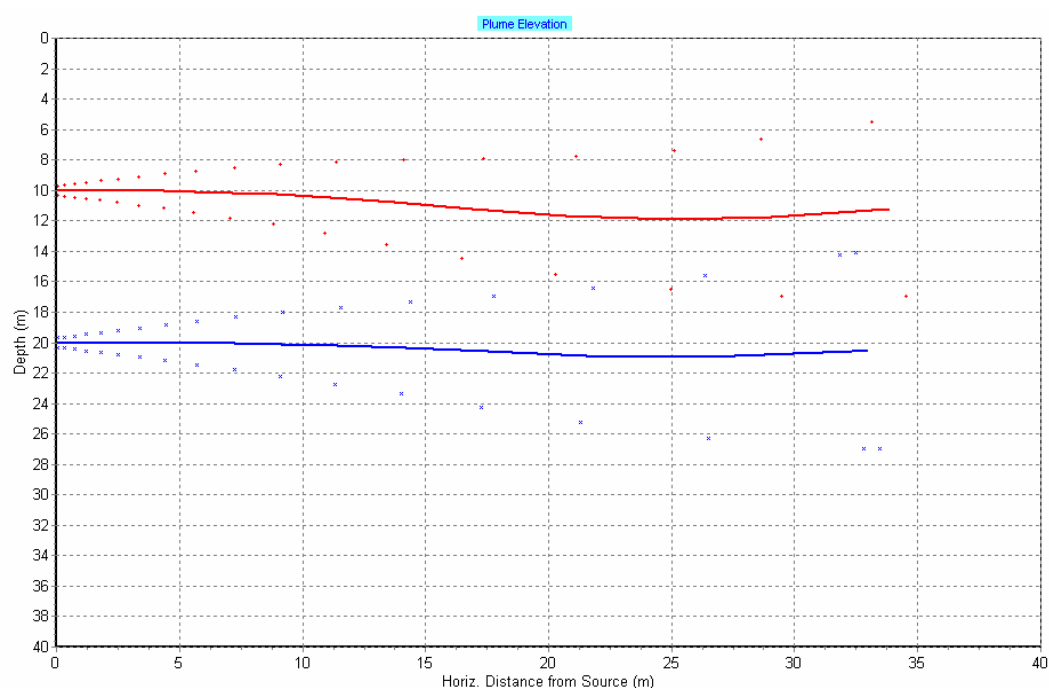
Simuleringene viser at dersom strømrretningen er langs med land (vinkelrett på utslippspunktets posisjon) fortynnes utslippet noe mer i nærheten av utslippspunktet enn når strømmen er rettet ut av fjorden (parallelt med utslippets posisjon). For den videre fortynningen av utslippet har dette lite å si og i avstanden 1000m fra utslippspunktet er overtemperaturen på utslippet tilnærmet uendret. Dette gjelder for begge utslippsdyp (10 m og 20 m).

Tabell 2. Sommersituasjon (hydrografidata fra 11. juni 1988): Temperaturdata for plum og omkringliggende vannmasser. Plumens temperatur er vist i avstanden 100 m og 1000 m fra utslippspunktet. Data for to ulike inntaksdyp (35 og 40 m) og to ulike utslippsdyp (10 og 20m) er vist.

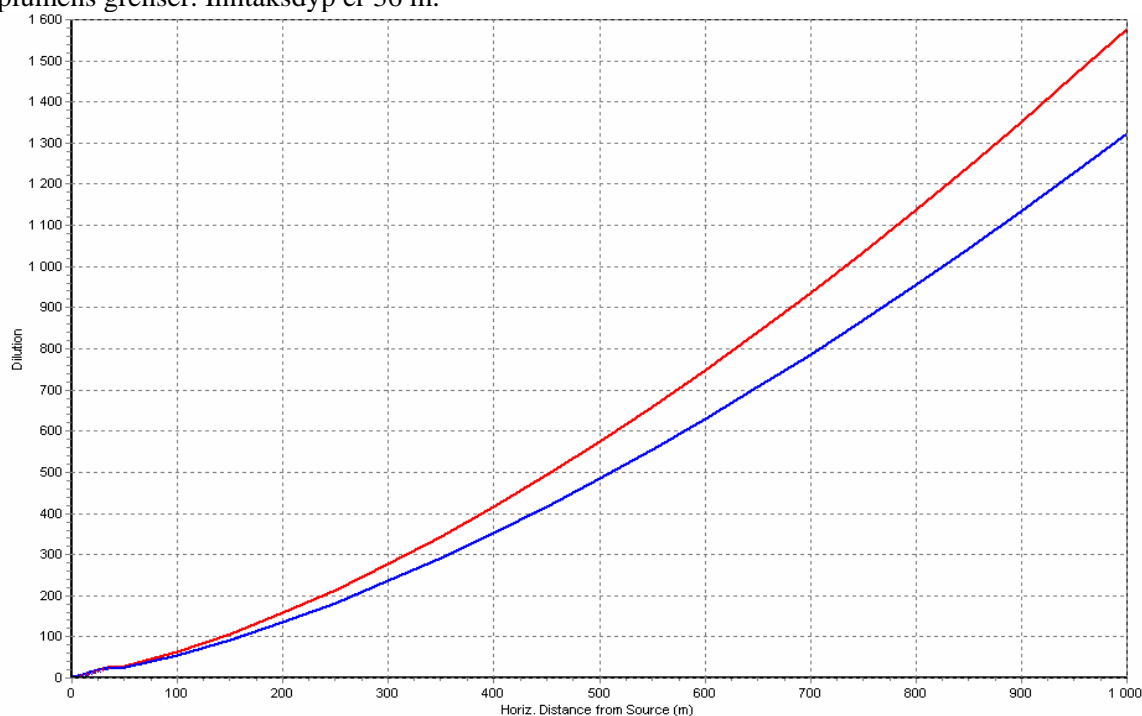
<b>10 m utslippsdyp</b>					
	Utslipps Temperatur [°C]	Innlagrings- dyp [m]	Temperatur Plum 100 m [°C]	Temperatur Omgivelse [°C]	Temp. Plum ved 1000 m [°C]
35m i.dyp	17,8	11,2	8,1	7,7	7,7
40m i.dyp	17,6	11,3	8,1	7,7	7,7
<b>20 m utslippsdyp</b>					
35m i.dyp	17,8	20,7	8,1	7,7	7,7
40m i.dyp	17,6	20,7	7,2	6,8	6,8

Tabell 3. Vintersituasjon (hydrografidata fra 24. februar 1988): Temperatur data for plum og omkringliggende vann for kjølevann som slippes ut ved 10 m og 20 m dyp ved innlagingsdyp. Plumens temperatur er vist i avstanden 100 m og 1000 m fra utslippspunktet. Inntaksdyp (i.dyp) er ved henholdsvis 35m og 40 m dyp.

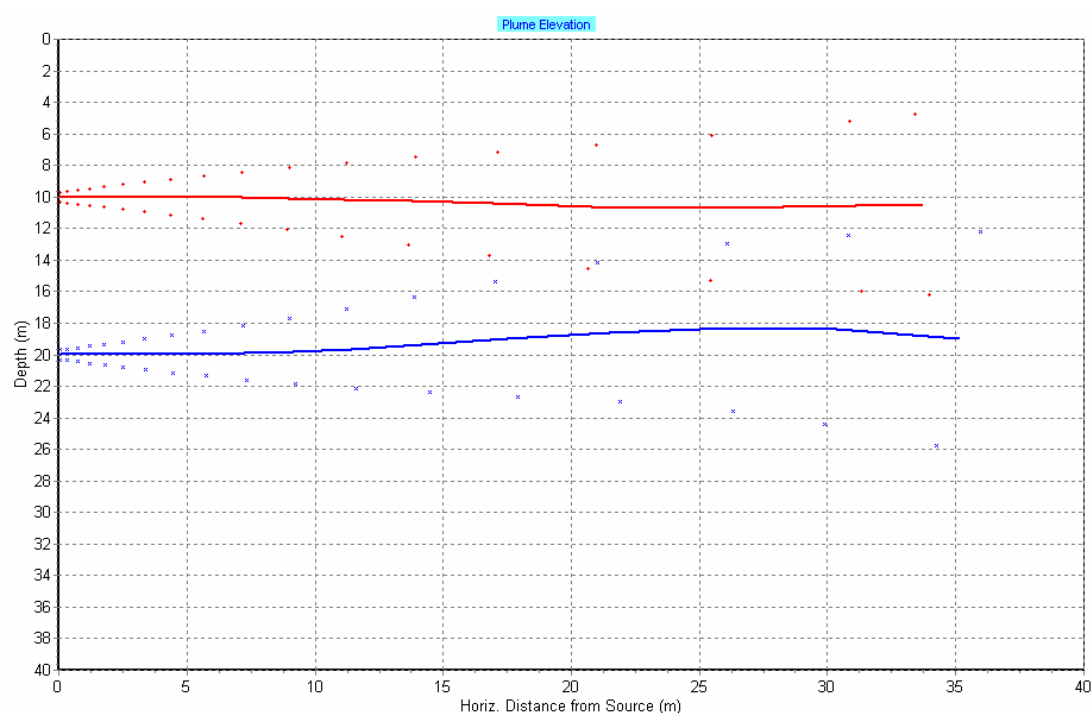
<b>10 m utslippsdyp</b>					
	Utslipps Temperatur [°C]	Innlagrings- dyp [m]	Temperatur Plum 100 m [°C]	Temperatur Omgivelse [°C]	Temp. Plum ved 1000 m [°C]
35m i.dyp	18,6	10,4	7,9	7,5	7,5
40m i.dyp	18,8	10,5	7,9	7,5	7,5
<b>20 m utslippsdyp</b>					
35m i.dyp	18,6	19,0	8,2	7,7	7,7
40m i.dyp	18,8	19,1	8,2	7,6	7,8



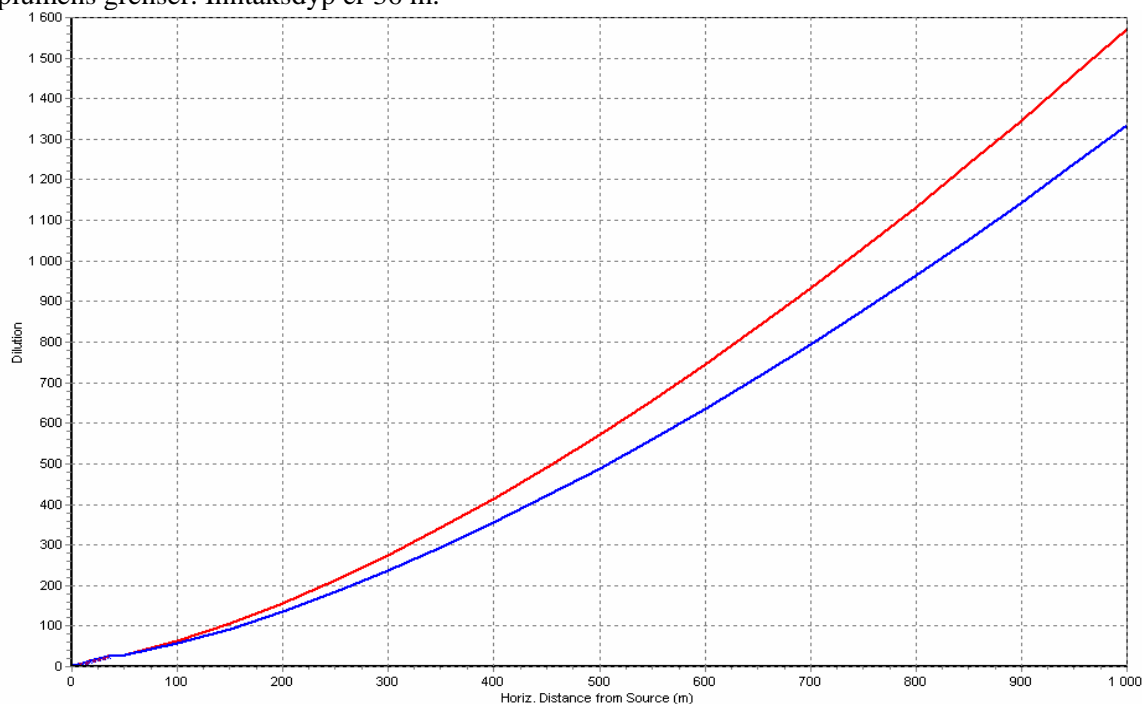
**Figur 5.** Beregnet bane for utslippssky av kjølevann ved 10 m (rød) og 20 m (blå) utslippsdyp. Beregningene er gjort for **sommersituasjon** med hydrografidata fra 11. juni 1988. Kryssene viser plumens grenser. Inntaksdyp er 36 m.



**Figur 6.** Beregnet fortykning av kjølevann som funksjon av avstand fra utslippspunktet i Saudafjorden ved 10 m (rød) og 20 m (blå) utslippsdyp. Beregningene er gjort for **sommersituasjon** med hydrografidata fra 11. juni 1988. Inntaksdyp er 36 m.



**Figur 7.** Beregnet bane for utslippssky av kjølevann ved 10 m (rød) og 20 m (blå) utslippsdyp. Beregningene er gjort for **vintersituasjon** med hydrografidata fra 24. februar 1988. Kryssene viser plumens grenser. Inntaksdyp er 36 m.



**Figur 8.** Beregnet fortykning av kjølevann som funksjon av avstand fra utslippspunktet i Saudafjorden ved 10 m (rød) og 20 m (blå) utslippsdyp. Beregningene er gjort for **vintersituasjon** med hydrografidata fra 24. februar 1988. Inntaksdyp er 36 m.

## 6. Sammenfattende vurdering av utslippet

Fortynningsberegningene viser at overtemperaturen i utslippsvannet, sammenlignet med temperaturen i de omkringliggende vannmassene, i de fleste situasjoner ha sunket til under 1 °C innen en avstand av ca 100 m fra utslippet. Det er liten risiko for påvisbare effekter med en temperaturøkning på under 1 °C. Vi anser derfor risikoen for effekter på organismesamfunn utenfor en avstand av 50-100 m fra utslippet som svært liten.

Innenfor 100 meter fra utslippet kan man få biologiske effekter, men ettersom organismesamfunnet i indre del av fjorden er svært artsfattig og det verken er tareforekomster eller andre viktige biotoper i nærområdet til utslippet, vil betydningen av effektene være begrenset. Dette med forbehold at organismesamfunnet ikke har gjennomgått dramatisk positive endringer siden 1980-tallet.

Ved utslipp til Saudafjorden med tilhørende innlagring kan kjølevannet tilføre vannmassene et netto tilskudd av suspendert materiale og næringssalter. Det finnes ikke data som gir grunnlag for å kvantifisere størrelsen av dette utslippet eller sammenligne den med de naturlige mengdene i vannmassene, men for å redusere risikoen for negative virkninger på økosystemet anbefales at kjølevannet slippes i 15-20 m dyp.

Kjølevannet synes å bli innlagret nær utslippsdypet, noe som reduserer risikoen for resirkulering av kjølevannet. Ansees resirkulering som et viktig tema kan evt. dette utredes nærmere.

Storelva som renner ut i Saudafjorden, er en lakseproduserende elv. Laksen vandrer i de øverste 3 meterne og følger gjerne hovedstrømmen i fjorden. For å sikre at utslippet av kjølevann får minst mulig konsekvenser for laks på vandring til eller fra elva, bør utslippet plasseres bort fra selve elvemunningen og i et dyp som tilsier innlagring dypere enn 3-4 meter. Utslipp med innlagring i 15-20 m dyp innfrir dette kravet med god margin.



## 7. Litteratur

Bakke, T., Berge, J., Braaten, B., Moy, F., Oen, H., Pedersen, A., Walday, M., 1992. Kombinerte effekter av kjølevann og oppdrett på marine bunnsamfunn. Et økosystemeksperiment. Norsk institutt for vannforskning. Rapport l. nr OR-2743. 201 s.

Bakke, T., Braaten, B., Molvær, J. og Schaanning, M.T., 2002. Seawater flue gas desulfurization FGD may require new regulations on ambient dissolved oxygen. Proceedings of the 14th Conference of the Electric Power Supply Industry (CEPSI2002), Fukuoka, Japan, 5-8 November 2002.

Bakke, T., J. Molvær, M. Walday, A. Tobiesen 2006. Miljømessig vurdering av utslipp fra gasskraftverk på Herøya, Porsgrunn. NIVA-rapport 5197-2006. 75s.

Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J., Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4<sup>th</sup> Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.

Gasparini, R., 1983. Water quality and the discharge of cooling water into rivers, lakes, and coastal waters. Wat. Sci. Tech. , 15, 15-30.

Knutzen, J., B. Rygg og J. Skei 1982. Overvåking av Saudafjorden 1981. NIVA-rapport 1417, 87s.

Lüning, K. 1990. Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology. 527pp.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 sider.

Rueness, J. T. Jacobsen og P.A. Åsen, 1990. trekk ved marine benthosalgers utbredelse i Norge belyst ved undersøkelser av blant andre rødalgen *Ceramium shuttleworthianum* (pigget rekeklo). Blyttia 48 (1990).

Stenstrøm, P. og Golmen, G., 2005. Strømmodellering i indre Saudafjorden - Konsekvenser av kraftverktutbyggingen ved Sønnå for isforhold og erosjon. NIVA-rapport nr. 5060-2005. 33 sider.

Tvedten, Ø.F. Resipientundersøkelse I Saudafjorden, Sauda commune. IRIS rapport 2001/008. 56 sider

[www.ukmarinesac.org.uk](http://www.ukmarinesac.org.uk)